

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญภาพ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
บทที่	
1 <b>บทนำ</b>	
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	1
ขอบเขตของการวิจัย	2
2 <b>ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	
ระบบเซลลูลาร์	3
โครงสร้างของระบบโทรศัพท์เซลลูลาร์	4
การพัฒนาระบบโทรศัพท์เซลลูลาร์ การพัฒนาโทรศัพท์เคลื่อนที่	
จากยุคที่ 1 (1G) ถึงยุค 4 (4G)	4
การสื่อสารแบบโทรศัพท์มือถือ	5
เทคโนโลยีการส่งข้อมูลแบบไร้สาย	6
เทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สาย	9
โครงสร้างของระบบ GSM (System Architecture)	11
ประเภทของการ Setup Call	17
Sequence Diagram ของการคุยโทรศัพท์	18
การไหลของข้อมูล (2G Call Flow)	20
คำสั่งเอทีคอมมานด์ (AT – Command)	21
จีเอสเอ็ม โมดูล เอหก (GSM Modules A6)	24
อาดูอิโน้ เมกา (Arduino Mega 2560)	24

## สารบัญญ(ต่อ)

บทที่		หน้า
	โทรศัพท์มือถือ	25
	กระบวนการในการเปิดเบอร์โทรศัพท์	25
	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	26
3	<b>วิธีดำเนินการวิจัย</b>	
	แผนผังการทำงานของระบบ	28
	แผนการดำเนินงานวิจัย	29
	โครงสร้างโดยรวมของระบบ	31
	โครงสร้างฮาร์ดแวร์ของระบบ	32
	โครงสร้างแอปพลิเคชันของระบบ	33
	แผนผังการทำงานของระบบ	36
	แผนผังการโทรเรียกเข้าแต่ละภูมิภาค	38
	ทดสอบการทำงานและวิธีการทดลอง	40
4	<b>ผลการทดลอง</b>	
	ส่วนที่ 1 ผลการทดลอง 1 หมายเลขเบอร์โทรศัพท์ต่อ 1 ภูมิภาค	41
	ส่วนที่ 2 ทำการทดลอง 1 หมายเลขเบอร์โทรศัพท์ต่อ 6 ภูมิภาค	44
5	<b>สรุปผลการทดลอง</b>	
	สรุปผลการทดลองส่วนที่ 1	47
	สรุปผลการทดลองส่วนที่ 2	49
	อภิปรายผลการทดลอง	51
	ข้อเสนอแนะ	52

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
<b>บรรณานุกรม</b>	53
<b>ภาคผนวก</b>	
ก. ระบบตรวจสอบการเชื่อมต่อเครือข่ายโทรศัพท์มือถือจากทุกภูมิภาค สำหรับเบอร์โทรศัพท์ใหม่	55
ข. ผลการทดลองระบบตรวจสอบการเชื่อมต่อเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ จากทุกภูมิภาคสำหรับเบอร์โทรศัพท์ใหม่	58
ค. คู่มือการใช้งาน	121
ง. โปรแกรมควบคุมระบบตรวจสอบการเชื่อมต่อเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ จากทุกภูมิภาคสำหรับเบอร์โทรศัพท์ใหม่ของบอร์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino	126
จ. โปรแกรมควบคุมระบบตรวจสอบการเชื่อมต่อเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ จากทุกภูมิภาคสำหรับเบอร์โทรศัพท์ใหม่ของแอปพลิเคชัน	130
<b>ประวัติผู้วิจัย</b>	

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
2.1	ตารางคำสั่งแสดงสถานะในการทำงาน	21
3.1	ตารางแผนการดำเนินงานวิจัย	29
4.1	ตารางค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้ในการโทรแบบทีละเบอร์ของพนักงานจำนวน 10 คน	41
4.2	ตารางค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้ในการโทรแบบทีละเบอร์ของระบบจำนวน 10 ครั้ง	42
4.3	ตารางค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้ในการโทรทั้ง 6 ภูมิภาคของพนักงาน	44
4.4	ตารางค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้ในการโทรทั้ง 6 ภูมิภาคของระบบ	45
5.1	ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเวลาระหว่างพนักงานกับระบบแบบทีละภูมิภาค	47
5.2	ตารางเปรียบเทียบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานระหว่างพนักงานกับระบบแบบทีละภูมิภาค	48
5.3	ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเวลาระหว่างพนักงานกับระบบทั้ง 6 ภูมิภาค	49
5.4	ตารางเปรียบเทียบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานระหว่างพนักงานกับระบบทั้ง 6 ภูมิภาค	50
ข.1	ตารางค่าเวลาที่ใช้ในการโทรของพนักงานคนที่ 1 กรณีไม่รับสาย	59
ข.2	ตารางค่าเวลาที่ใช้ในการโทรของพนักงานคนที่ 1 กรณีรับสาย	59
ข.3	ตารางค่าเวลาที่ใช้ในการโทรของพนักงานคนที่ 1 กรณีสายไม่ว่าง	60
ข.4	ตารางค่าเวลาที่ใช้ในการโทรของพนักงานคนที่ 1 กรณีปิดเครื่อง	60
ข.5	ตารางค่าเวลาที่ใช้ในการโทรของพนักงานคนที่ 1 กรณีเปิดเบอร์ไม่สมบูรณ์	61
ข.6	ตารางค่าเวลาที่ใช้ในการโทรของพนักงานคนที่ 2 กรณีไม่รับสาย	61
ข.7	ตารางค่าเวลาที่ใช้ในการโทรของพนักงานคนที่ 2 กรณีรับสาย	62
ข.8	ตารางค่าเวลาที่ใช้ในการโทรของพนักงานคนที่ 2 กรณีสายไม่ว่าง	62
ข.9	ตารางค่าเวลาที่ใช้ในการโทรของพนักงานคนที่ 2 กรณีปิดเครื่อง	63
ข.10	ตารางค่าเวลาที่ใช้ในการโทรของพนักงานคนที่ 2 กรณีเปิดเบอร์ไม่สมบูรณ์	63
ข.11	ตารางค่าเวลาที่ใช้ในการโทรของพนักงานคนที่ 3 กรณีไม่รับสาย	64
ข.12	ตารางค่าเวลาที่ใช้ในการโทรของพนักงานคนที่ 3 กรณีรับสาย	64
ข.13	ตารางค่าเวลาที่ใช้ในการโทรของพนักงานคนที่ 3 กรณีสายไม่ว่าง	65
ข.14	ตารางค่าเวลาที่ใช้ในการโทรของพนักงานคนที่ 3 กรณีปิดเครื่อง	65
ข.15	ตารางค่าเวลาที่ใช้ในการโทรของพนักงานคนที่ 3 กรณีเปิดเบอร์ไม่สมบูรณ์	66
ข.16	ตารางค่าเวลาที่ใช้ในการโทรของพนักงานคนที่ 4 กรณีไม่รับสาย	66
ข.17	ตารางค่าเวลาที่ใช้ในการโทรของพนักงานคนที่ 4 กรณีรับสาย	67
ข.18	ตารางค่าเวลาที่ใช้ในการโทรของพนักงานคนที่ 4 กรณีสายไม่ว่าง	67







## สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข.103 ตารางค่าเฉลี่ยเวลาของพนักงานคนที่ 3	110
ข.104 ตารางค่าเฉลี่ยเวลาของพนักงานคนที่ 4	110
ข.105 ตารางค่าเฉลี่ยเวลาของพนักงานคนที่ 5	111
ข.106 ตารางค่าเฉลี่ยเวลาของพนักงานคนที่ 6	112
ข.107 ตารางค่าเฉลี่ยเวลาของพนักงานคนที่ 7	112
ข.108 ตารางค่าเฉลี่ยเวลาของพนักงานคนที่ 8	113
ข.109 ตารางค่าเฉลี่ยเวลาของพนักงานคนที่ 9	113
ข.110 ตารางค่าเฉลี่ยเวลาของพนักงานคนที่ 10	114
ข.111 ตารางค่าเฉลี่ยเวลาของระบบครั้งที่ 1	115
ข.112 ตารางค่าเฉลี่ยเวลาของระบบครั้งที่ 2	115
ข.113 ตารางค่าเฉลี่ยเวลาของระบบครั้งที่ 3	116
ข.114 ตารางค่าเฉลี่ยเวลาของระบบครั้งที่ 4	116
ข.115 ตารางค่าเฉลี่ยเวลาของระบบครั้งที่ 5	117
ข.116 ตารางค่าเฉลี่ยเวลาของระบบครั้งที่ 6	118
ข.117 ตารางค่าเฉลี่ยเวลาของระบบครั้งที่ 7	118
ข.118 ตารางค่าเฉลี่ยเวลาของระบบครั้งที่ 8	119
ข.119 ตารางค่าเฉลี่ยเวลาของระบบครั้งที่ 9	119
ข.120 ตารางค่าเฉลี่ยเวลาของระบบครั้งที่ 10	120

## สารบัญญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงโครงสร้างของเครือข่ายระบบโทรศัพท์เซลลูลาร์แต่ละเซลล์จะเชื่อมต่อถึงกันแต่ละเซลล์ที่ถูกแบ่งออกจะต้องเพิ่มสถานีฐานเข้าไปทุกเซลล์	3
2.2	โครงสร้างของระบบโทรศัพท์เซลลูลาร์	4
2.3	การสื่อสารแบบโทรศัพท์มือถือ	6
2.4	สายดีเกิลยวคู่แบบไม่ป้องกันสัญญาณรบกวนหรือชนิดไม่หุ้มฉนวน	7
2.5	สายดีเกิลยวคู่แบบป้องกันสัญญาณรบกวนหรือชนิดหุ้มฉนวน	7
2.6	สายโคแอกซ์ชีเยล	8
2.7	สายใยแก้วนำแสง	9
2.8	ข้อแตกต่างระหว่าง Wi-Fi กับ WLAN	11
2.9	แสดงโครงสร้างโครงข่ายของระบบ GSM	12
2.10	กระบวนการ Setup Call	18
2.11	แสดง Sequence Diagram ของการต่อโทรศัพท์	19
2.12	แสดง Sequence Diagram ของการคุยโทรศัพท์ และมีสายเรียกซ้อน	19
2.13	แสดงการส่งสัญญาณการโทรจากต้นทางไปยังปลายทางแบบ 2G	20
2.14	ข้อความที่ตอบกลับจากการตรวจสอบความเร็วการสื่อสาร	22
2.15	ข้อความที่ตอบกลับจากการกำหนดความเร็วการสื่อสาร	22
2.16	ข้อความที่ตอบกลับจากการตรวจสอบคุณภาพสัญญาณ	22
2.17	ข้อความที่ตอบกลับจากการใช้คำสั่งโทรออก	23
2.18	สถานะตอบกลับจากโมดูลในแต่ละกรณี	23
2.19	โมดูลจีเอสเอ็ม เอหก (GSM Modules A6)	24
2.20	บอร์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino Mega 2560)	25
2.21	โทรศัพท์มือถือ	25
3.1	แผนผังการทำงานของระบบ	28
3.2	โครงสร้างโดยรวมของระบบ	31
3.3	โครงสร้างฮาร์ดแวร์ของระบบ	32
3.4	โครงสร้างแอปพลิเคชันของระบบ	33
3.5	หน้าแรกของแอปพลิเคชัน	34
3.6	แถบเมนูบริหารจัดการเบอร์โทรศัพท์	34

## สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.7	แถบเมนูบริหารจัดการโมดูล	35
3.8	แถบเมนูตรวจสอบผู้ให้บริการเครือข่าย	35
3.9	แถบเมนูตรวจสอบเบอร์โทรศัพท์ใหม่	36
3.10	แถบเมนูตรวจสอบสถานะการดำเนินงาน	36
3.11	แผนผังการทำงานของระบบ	36
3.12	แผนผังการโทรเรียกเข้าแต่ละภูมิภาคของระบบ	38
4.1	กราฟค่าเฉลี่ยเวลาการโทรที่ละภูมิภาคของพนักงาน จำนวน 10 คน	42
4.2	กราฟค่าเฉลี่ยเวลาการโทรที่ละภูมิภาคของระบบจำนวน 10 ครั้ง	43
4.3	กราฟค่าเฉลี่ยเวลาการโทรทั้ง 6 ภูมิภาคของพนักงานจำนวน 10 คน	45
4.4	กราฟค่าเฉลี่ยเวลาการโทรทั้ง 6 ภูมิภาคของระบบจำนวน 10 ครั้ง	46
5.1	กราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเวลาระหว่างพนักงานกับระบบตรวจสอบฯ	48
5.2	กราฟเปรียบเทียบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานระหว่างพนักงานกับระบบตรวจสอบฯ	49
5.3	กราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเวลาระหว่างพนักงานกับระบบตรวจสอบฯ	50
5.4	กราฟเปรียบเทียบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานระหว่างพนักงานกับระบบตรวจสอบฯ	51
ก.1	ระบบตรวจสอบเบอร์โทรศัพท์ที่มีต่อจากทุกภูมิภาคสำหรับเบอร์โทรศัพท์ใหม่	56
ก.2	อุปกรณ์ที่ใช้ในกาตรวจสอบเบอร์โทรศัพท์ใหม่	56
ก.3	หลอดแอลอีดี (LED) ที่ใช้แสดงสถานะการโทร	57
ค.1	หน้าหลักของแอปพลิเคชัน	122
ค.2	แถบเมนูบริหารจัดการเบอร์โทรศัพท์	122
ค.3	แถบเมนูบริหารจัดการโมดูล	123
ค.4	แถบเมนูตรวจสอบผู้ให้บริการเครือข่าย	124
ค.5	แถบเมนูตรวจสอบเบอร์โทรศัพท์ใหม่	124
ค.6	แถบเมนูตรวจสอบสถานะการดำเนินงาน	125